

Baugrundverhältnisse des Bahnprojekts Stuttgart – Ulm

Ground conditions of the large-scale railway project Stuttgart – Ulm

Prof. Dr.-Ing. Walter Wittke

Zusammenfassung

Die Tunnel des Projekts Stuttgart – Ulm durchörtern die gesamte Schichtenfolge der Formationen des Keupers und des Jura.

In Höhe der Sohle und im unteren Bereich der Hänge des Stuttgarter Talkessels stehen die Schichtglieder des Gipskeupers an. Sie enthalten im unausgelaugten Zustand quellfähigen Anhydrit, der im Zusammenwirken mit den im Gestein vorhandenen Tonmineralien bei Wasserzutritt große Quelldrücke und quellbedingte Hebungen auslösen kann. Nach der Umwandlung von Anhydrit in Gips, die auch in Natur stattfindet, haben die Schichten des Gipskeupers immer noch gesteinsartigen Charakter. Der Gips geht jedoch in Lösung und wird im Verlauf der Zeit mit dem Grundwasser abtransportiert. Übrig bleibt der sogenannte ausgelaugte Gipskeuper, ein Residualgestein mit den Eigenschaften eines Lockergesteins.

Den Übergang vom Gipskeuper zu dem stark wasserführenden Stubensandstein bilden die gering durchlässigen Schichten der Schilf- und Kieselsandsteinformation sowie die Oberen und Unteren Bunten Mergel. Der Knollenmergel, der durch Harnische mit unterschiedlichen Streich- und Einfallwinkeln gekennzeichnet ist, sowie das Rät bilden den Übergang zu den Ton- und Kalksandsteinen des Lias α , die auf der Filderebene und damit auch im Flughafenbereich anstehen.

Alle Schichten des Stuttgarter Baugrunds wurden in der Vergangenheit bereits von Straßen-, S-Bahn- und Stadtbahntunneln durchfahren, so dass Erfahrungen über ihre felsmechanischen Eigenschaften vorliegen.

Die Alaufstiegstunnel werden die Schichten des Braunjura und des Weißjura durchörtern. In den Massenkalken der Weißjuraformation ist besonders die ausgeprägte Verkarstung von großer Bedeutung für den Tunnelbau.

Executive Summary

The tunnels of the large-scale railway project Stuttgart – Ulm are crossing the complete sequence of the geological formations Keuper and Jura.

At the bottom and in the lower part of the slopes of the valley of the city of Stuttgart, the layers of Gypsum Keuper are encountered. These layers, in their unleached state, contain anhydrite with swelling potential. If the anhydrite, in connection with the clay minerals existing in the rock mass, is coming into contact with water, it can cause large swelling pressures and heavings due to swelling. After the transformation of anhydrite to gypsum, a process, which also takes place in nature, the layers of Gypsum Keuper still have rock

characteristics. The gypsum, however, is dissolved and in the course of time it is removed with groundwater flow. The remaining so-called leached Gypsum Keuper, a residual rock, has the characteristics of a soil.

Between the layers of Gypsum Keuper and the water bearing layers of Stubensandstein, the low permeable formations of Schilf- and Kieselsandstein as well as Upper and Lower Bunte Mergel (Marls) are encountered. The so-called Knollenmergel, which is characterized by slickensides with varying strike and dip angles, as well as the Rät, form the transition to the clay- and siltstone series of the Lias α , which are encountered on the Filder plane and thus also in the area of Stuttgart airport.

All the different formations in the Stuttgart area have already been crossed with tunnels for road, metro or suburban railway. Therefore, experience on the rock mechanical characteristics is available.

The tunnels for the ascend to the Swabian Alb will cross the layers of Brown and White Jurassic. In the massive limestones of the White Jurassic, the strong karstification is of relevance for the tunnel structures.

1. Einleitung

Ungefähr 100 km Tunnel müssen für das Bahnprojekt Stuttgart – Ulm in bergmännischer Bauweise erstellt werden. Diese Tunnel durchdringen alle Schichten der geologischen Formationen des Keupers und des Jura.

Da die Maßnahmen zur Sicherung und Auskleidung der Tunnel und damit auch die Bauzeit und die Kosten sehr wesentlich von den felsmechanischen Eigenschaften dieser Schichten abhängen, ist es sehr wichtig, sich damit zu befassen.

Der folgende Beitrag gibt einen Einblick in die Thematik und weist auf Literatur hin, mit Hilfe derer sich der Leser vertiefte Kenntnisse aneignen kann.

2. Stuttgart, Talkessel und Filderebene

2.1 Übersicht

Insgesamt 51,5 km Tunnel müssen für das Teilprojekt Stuttgart 21 gebaut werden (Bild 1). Davon liegen der Fildertunnel, die Tunnel nach Ober- und Untertürkheim und die Tunnel nach Feuerbach und Bad Cannstatt im Stadtgebiet von Stuttgart und machen den größten Teil der Tunnelbauten aus. Die anderen Tunnel liegen auf der Filderebene (Bild 1).

Ein idealisiertes Schichtprofil des Baugrunds im Talkessel von Stuttgart zeigt, dass der mineralwasserführende obere Muschelkalk und die darüber liegende Formation des Lettenkeupers unterhalb der Talsohle liegen (Bild 1). Daran schließt sich der Gipskeuper an. Diese Formation wird vom Schilfsandstein, den unteren und oberen Bunten Mergeln sowie dem Kiesel- und Stubensandstein überlagert.

Den Übergang zur Formation des Schwarzen Jura bilden der Knollenmergel und das Rät (LGRB 2013, LGRB, Geyer & Gwinner 2011).

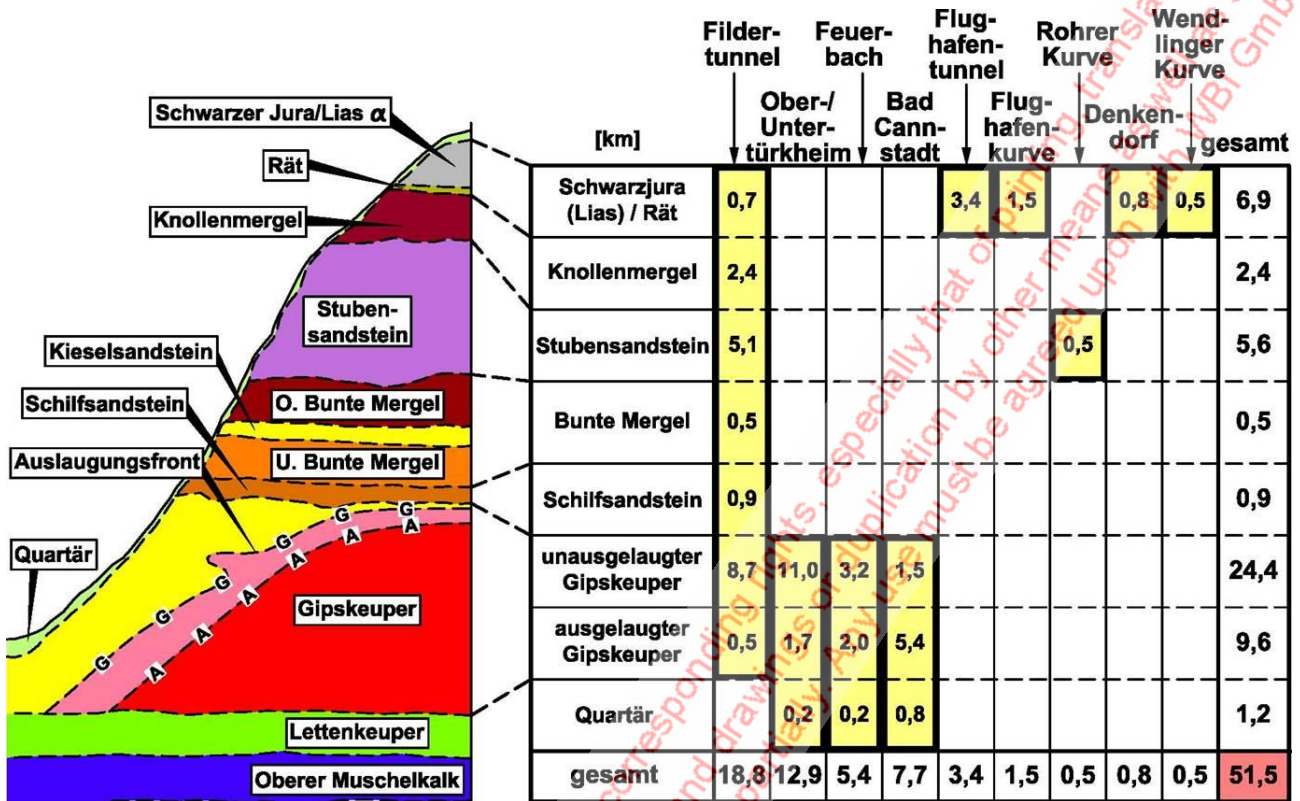


Bild 1: Geologie und Tunnelbauwerke Stuttgart 21

Aus der Zusammenstellung in Bild 1 ist ersichtlich, dass der größte Teil der Tunnel im Gipskeuper zu liegen kommt. Danach folgen der Stubensandstein und der Schwarze Jura, in denen 5,6 km bzw. 6,9 km Tunnel gebaut werden sollen (Bild 1). Die Eigenschaften dieser Schichten werden deshalb nachfolgend erläutert.

2.2 Gipskeuper

Der Gipskeuper ist ein sulfatführendes Tongestein. Der Sulfatanteil in den einzelnen Schichtgliedern dieser Formation ist sehr unterschiedlich. Den größten Sulfatgehalt findet man in den unmittelbar oberhalb des Lettenkeupers anstehenden Grundgipsschichten.

Im Ausgangsgestein steht das Sulfat in Form von Anhydrit (CaSO_4) an (Bild 2). Dieser wird in geologischen Zeiträumen infolge Wasserzutritt aufgrund von Diffusion in der Natur in Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) umgewandelt (Bild 2, Wittke 2014, Wittke 2003, Wahlen 2009). Im Grundwasser geht der Gips in Lösung und wird in die Vorfluter, wie den Nesenbach und den Neckar, abtransportiert. Übrig bleibt ein sogenanntes sulfatfreies Residualgestein, der ausgelaugte Gipskeuper (Bild 2, Wittke & Druffel & Hochgürtel 2015).

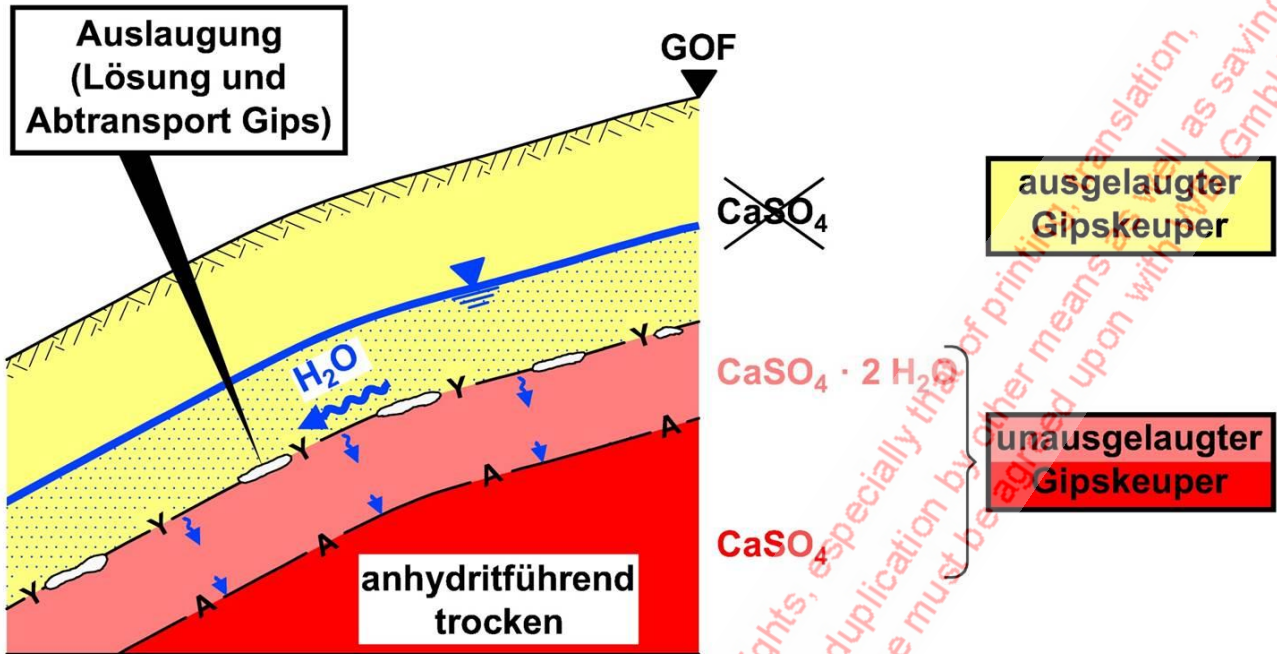


Bild 2: Gipskeuper – unausgelaugt und ausgelaugt

In der Natur bildet sich auf diese Weise das in Bild 2 idealisierend skizzierte Untergrundprofil aus. Unterhalb des sogenannten Anhydritspiegels (A-A in Bild 2) steht das Sulfat in Form von Anhydrit an. Zwischen dem Anhydritspiegel und der sogenannten Auslaugungsfront (Y-Y in Bild 2) steht das Sulfat als Gips an, der Gipskeuper hat aber noch Festgesteinscharakter. Oberhalb der Auslaugungsfront hat der Gipskeuper dagegen eher Lockergesteinscharakter, weil die durch das Sulfat bedingte Festigkeit durch Auslaugung verloren gegangen ist.

Bild 3 zeigt ein Foto der Ortsbrust aus dem Pfeilerstollen West des Verzweigungsbauwerks unter dem Kernerviertel der Stadt Stuttgart. Links im Bild erkennt man den annähernd horizontal geschichteten unausgelaugten, gipsführenden Gipskeuper. Rechts im Bild ist er ausgelaugt (Bild 3). Hier ist der Schichtverlauf vermutlich als Folge der Auslaugung und des damit verbundenen Volumenverlusts gestört. Ein Foto der Ortsbrust aus dem Tunnel nach Bad Cannstatt zeigt ein weiteres Beispiel für einen ausgelaugten Gipskeuper. Hier ist der Schichtenverlauf auch nach der Auslaugung noch ungestört (Bild 4, Wittke-Gattermann & Lutz & Strangfeld 2015).

Erfahrungen haben gezeigt, dass die mechanischen Eigenschaften der Gesteine der Gipskeuperformation von deren Wassergehalt abhängen. Im Rahmen der Vorerkundungen für das Projekt Stuttgart – Ulm wurden deshalb an den Kernen der Erkundungsbohrungen in einem Abstand von 1 m Proben zur Bestimmung des Wassergehalts entnommen. Für Proben aus dem unausgelaugten Gipskeuper ergaben sich daraus mittlere Wassergehalte von $\bar{w} = 4,0 \%$ für anhydritführende und von $\bar{w} = 5,5 \%$ für gipsführende Proben (Bild 5).



Bild 3: Verzweigungsbauwerk Hbf. Süd, Pfeilerstollen West (09.04.15)



Bild 4: Ortsbrust im ausgelaugten Gipskeuper, Tunnel nach Bad Cannstatt

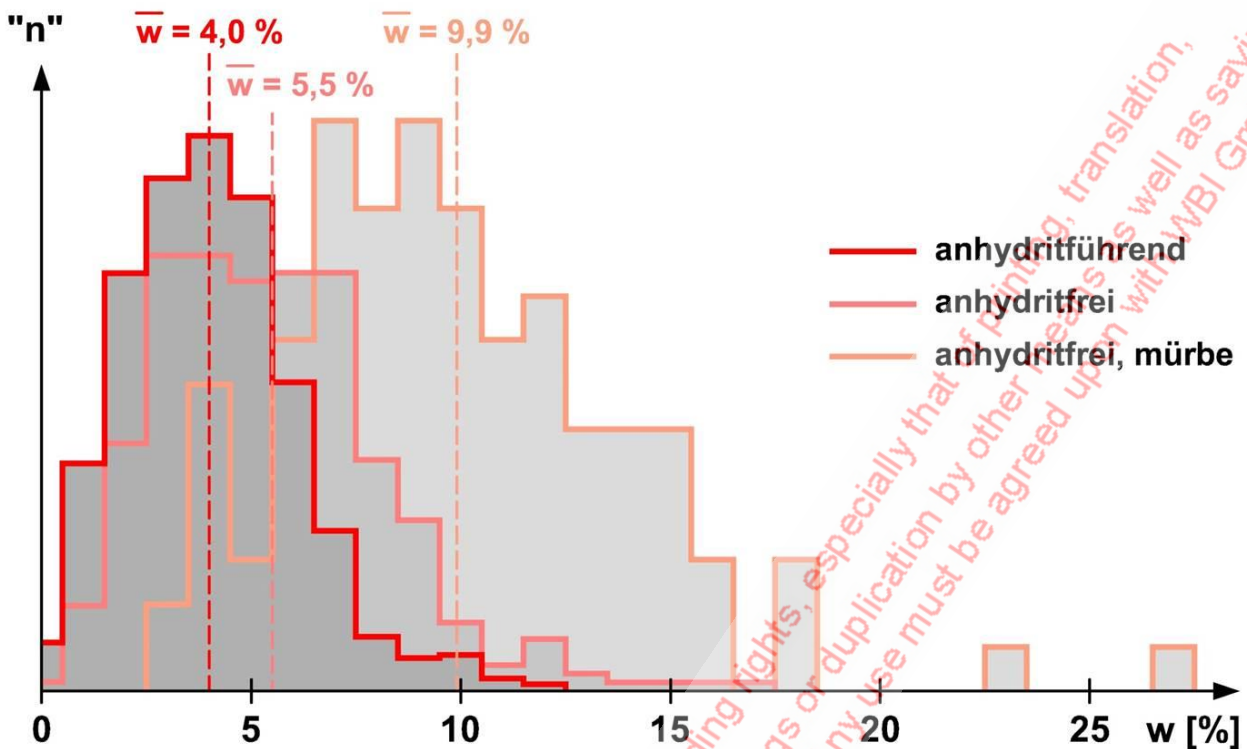


Bild 5: Unausgelaugter Gipskeuper im Fildertunnel, Wassergehalte aus den Erkundungen

Für Proben aus mürben Gesteinen, bei denen die Auslaugung bereits begonnen hatte, jedoch nicht abgeschlossen war, wurde ein mittlerer Wassergehalt von $\bar{w} = 9,9\%$ bei großer Streuung der Einzelwerte gemessen. Deutlich größere Wassergehalte ergaben sich für Proben aus dem ausgelaugtem Gipskeuper. Hier kann zwischen 4 Klassen unterschieden werden (Bild 6). Bei der Klasse IV handelt es sich um vollständig entfestigte Proben (Bild 7), bei denen das Ausgangsgestein einen großen Sulfatgehalt besessen hat. Proben der gesteinsartigen Klasse I haben dagegen einen sehr geringen Wassergehalt von im Mittel $\bar{w} = 4,7\%$. Ursächlich ist hierfür ein geringer Sulfatgehalt des Ausgangsgesteins. Die Proben der mürben (Klasse II) und sehr mürben (Klasse III) Schluffsteine liegen hinsichtlich des gemessenen Wassergehalts zwischen denen der Klassen I und IV. Es fällt auf, dass die Streuungen der Wassergehalte größer sind als bei den gesteinsartigen Proben (vgl. Bilder 5 und 6). Nach dieser Klasseneinteilung wurde im Verlauf der Erkundungen und auch jetzt während des Vortriebs der ausgelaugte Gipskeuper kartiert.

Die in Bild 7 dargestellten geotechnischen Kennwerte wurden im Wesentlichen durch Rückrechnung von Messungen an ausgeführten Bauwerken gewonnen (Wittke 2014, Wittke 1978, Lay 2015).

So wurde der Verformungsmodul von $E = 150 \text{ MN/m}^2$ durch Rückrechnung beim Bau des S-Bahn-Tunnels im Bereich der Schwabstraße gewonnen (Wittke 1978). Im Rahmen von Voruntersuchungen für dieses Projekt wurden in Lastplattenversuchen in einem Erkundungsstollen und in Laborversuchen deutlich geringere Werte gemessen (Bild 8). Während aus Untersuchungen im Festgestein der umgekehrte Maßstabeffekt beobachtet wird, werden die Proben in diesem Residualgestein bei der Gewinnung offensichtlich so

gestört, dass sich kleinere Werte ergeben als im Maßstab des Bauwerks. Ein ähnlicher Effekt stellt sich demnach auch beim Herausarbeiten von Proben für in situ-Versuche ein.

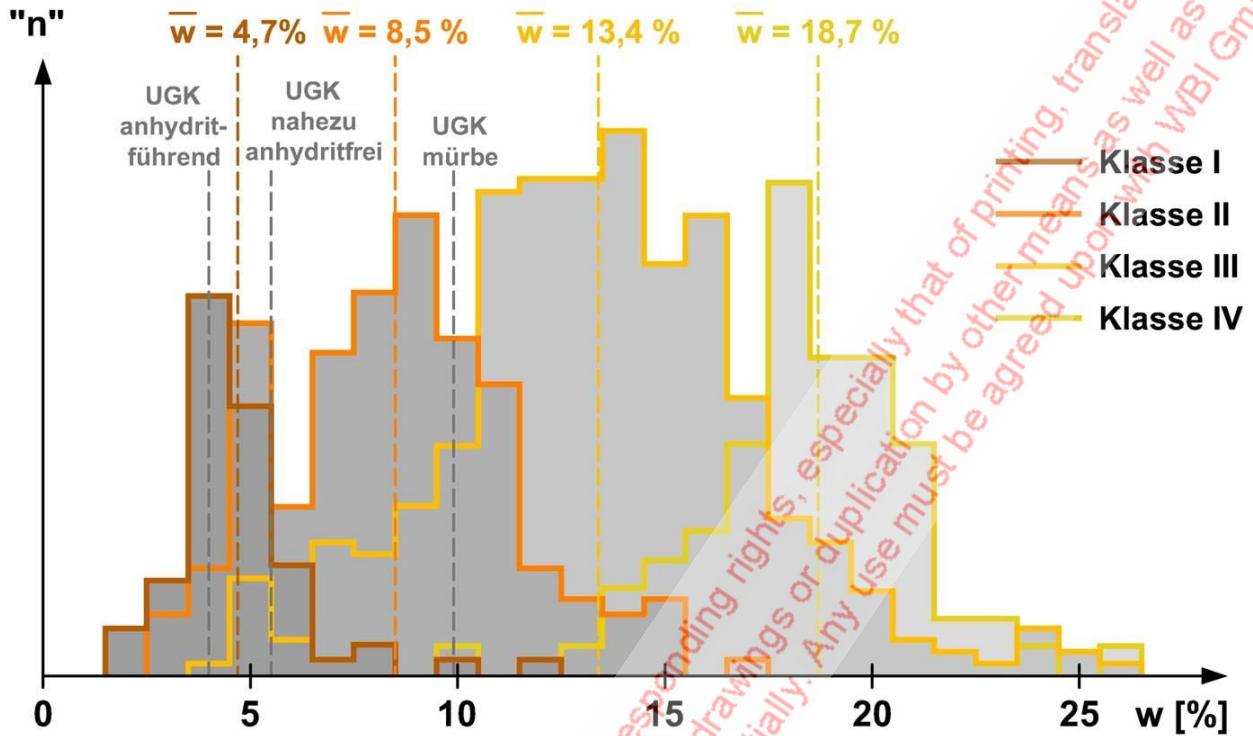
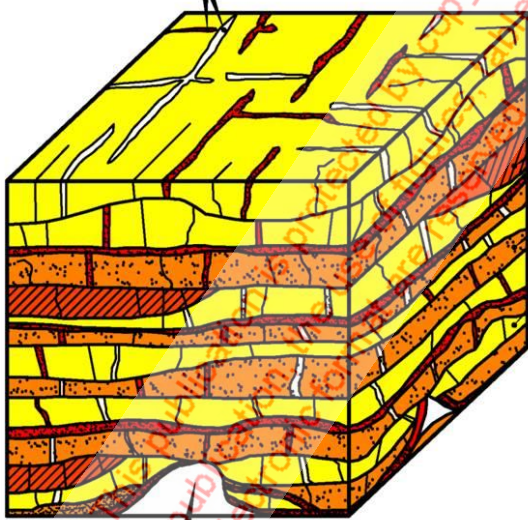


Bild 6: Ausgelaugter Gipskeuper im Fildertunnel, Wassergehalte aus den Erkundungen

Klüfte, z.T. mit Auslaugungsschluff gefüllt



Hohlraum

Klassen	Schluffstein
I	gesteinsartig
II	mürbe
III	sehr mürbe
IV	vollständig entfestigt

$E = 150 \text{ MN/m}^2$
 ($E = 80 \text{ MN/m}^2$, hoher Anteil Klasse IV)
 $\varphi = 25^\circ$, $c = 20 \text{ kN/m}^2$
 bzw.
 $\varphi = 30^\circ$, $c = 0 \text{ kN/m}^2$
 (Ersatzreibungswinkel)

Bild 7: Ausgelaugter Gipskeuper, Gefügemodell und Kennwerte

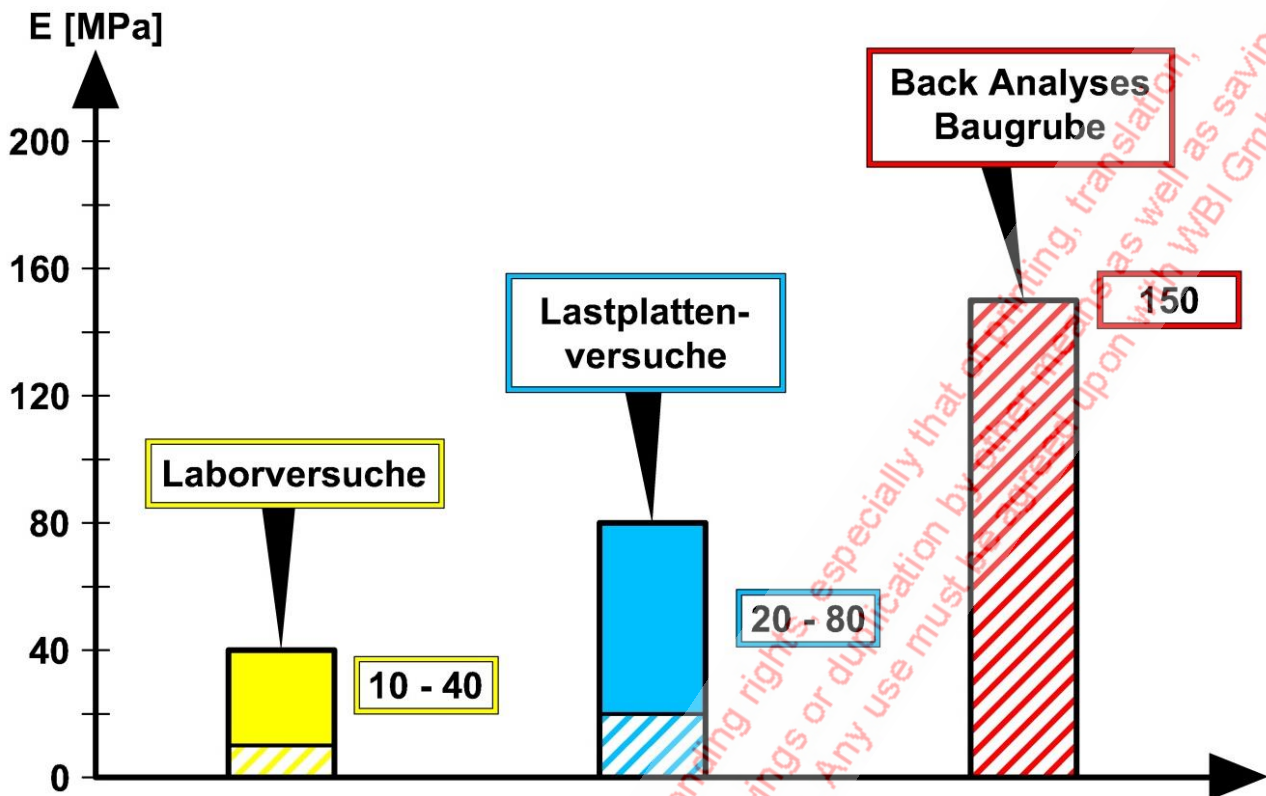


Bild 8: Ausgelaugter Gipskeuper, Verformungsmodul

2.3 Stubensandstein

Bild 9 zeigt die für die Formation des Stubensandsteins erbohrte Wechselfolge aus Sandsteinen und Tonschluffsteinen. Die beiden unterhalb des Knollenmergels anstehenden Tonschluffsteinhorizonte gehen über das Untersuchungsgebiet durch, wenngleich sie keine konstante Dicke aufweisen. Die Schichtgrenzen wurden zwischen den ebenfalls in Bild 9 angedeuteten Erkundungsbohrungen interpretiert und außerdem näherungsweise im Mittel horizontal dargestellt, obwohl sie großräumig unter ca. 1 - 2 % nach SE einfallen.

Insbesondere die Sandsteine weisen weit durchgehende Schichtfugen und eine deutliche Klüftung auf, wobei die Klüfte meist an den Schichtfugen absetzen (Bild 10). In den weniger intensiv geschichteten und geklüfteten Tonschluffsteinen muss man mit weit durchgehenden, welligen Harnischflächen rechnen.

Aus Labor- und Feldversuchen und aus Rückrechnungen von Verschiebungen, die an bereits ausgeführten Tunnelbauwerken gemessen wurden, wurden die in Bild 9 dargestellten felsmechanischen Kennwerte abgeleitet (WBI 2010a, WBI 2010b).

Im Rahmen der Voruntersuchungen wurden die Durchlässigkeitsbeiwerte beider Schichtglieder in zahlreichen Lugeon Versuchen gemessen. Für ungeklüftete Bohrlochabschnitte ergaben sich daraus k_f -Werte, die im Mittel für die Sandsteine um nahezu zwei Zehnerpotenzen größer waren als für die Tonschluffsteine (Bild 11). Für Versuche in klüftigen Bohrlochabschnitten waren die Unterschiede geringer. Wenn man aber bedenkt, dass die Tonschluffsteine deutlich weniger geklüftet sind als die Sandsteine, dann kann man aus den Ergebnissen auf eine großmaßstäbliche Inhomogenität der Schichtenfolge der Stubensandsteinformation schließen.

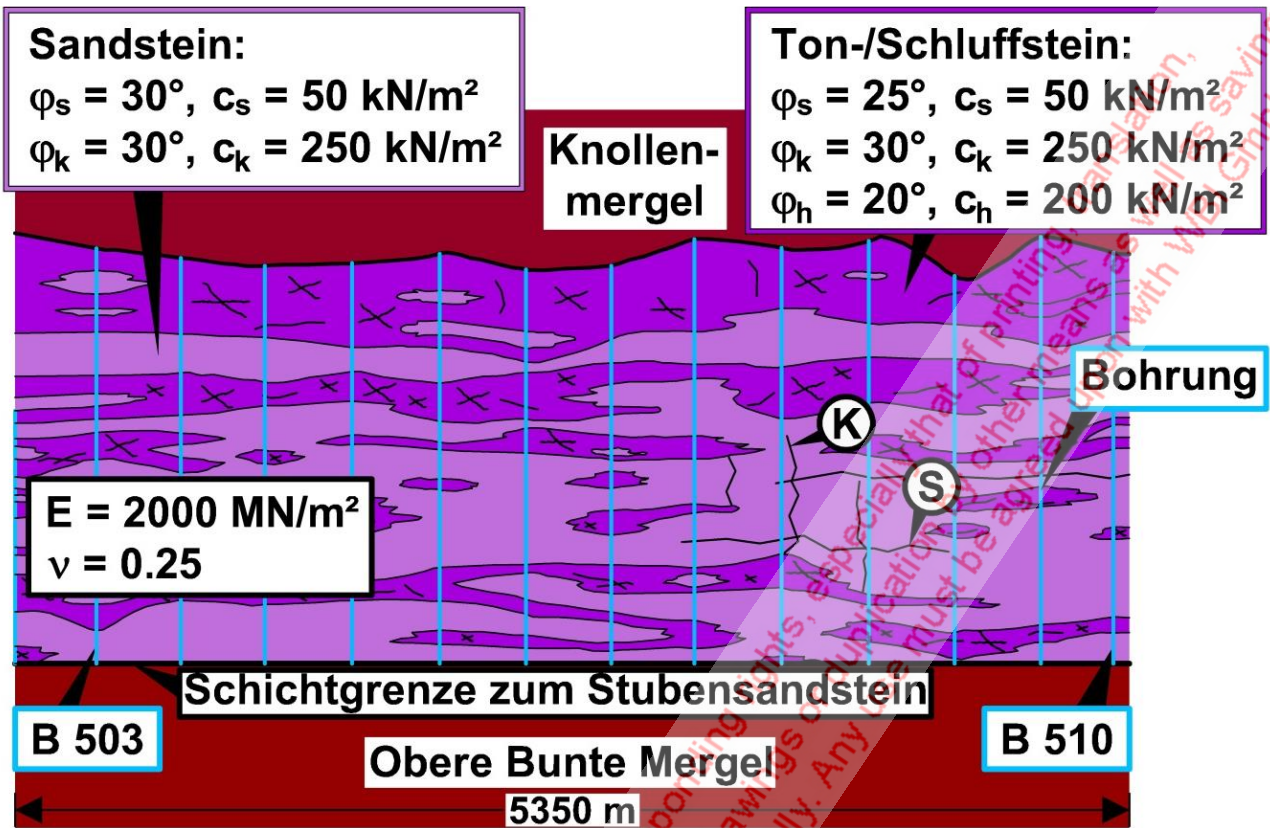


Bild 9: Stubensandstein, Geologisches Profil mit Kennwerten

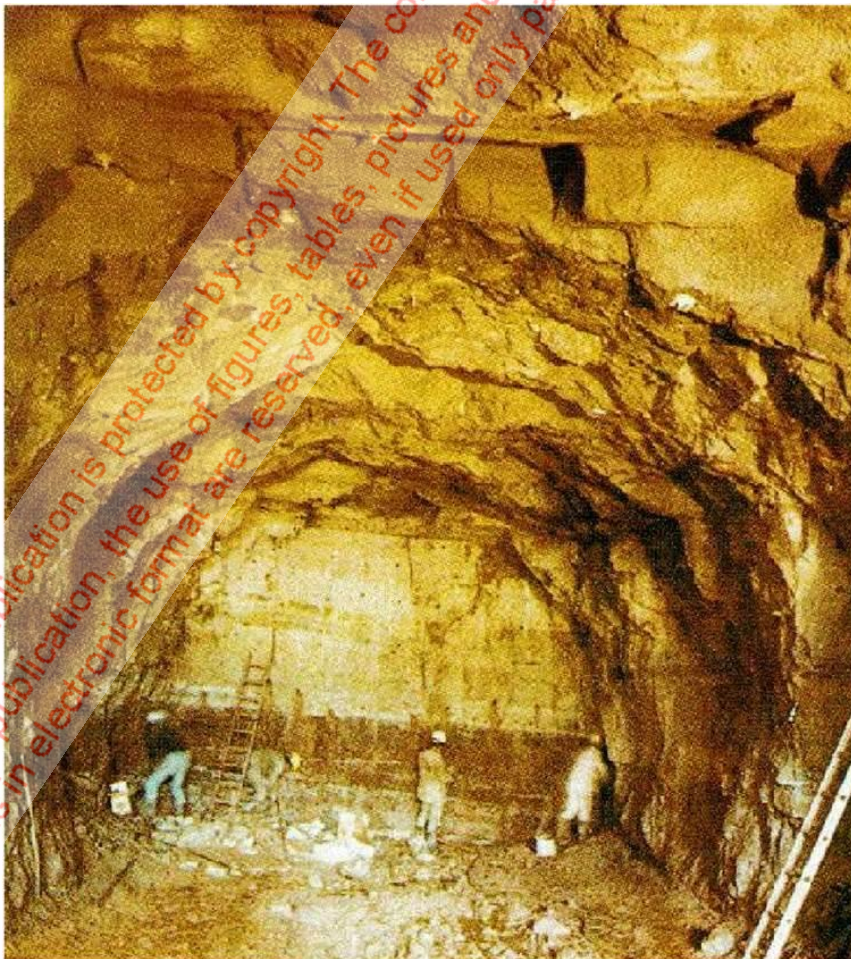


Bild 10: Stubensandstein, Fensterstollen Heselacher Wand

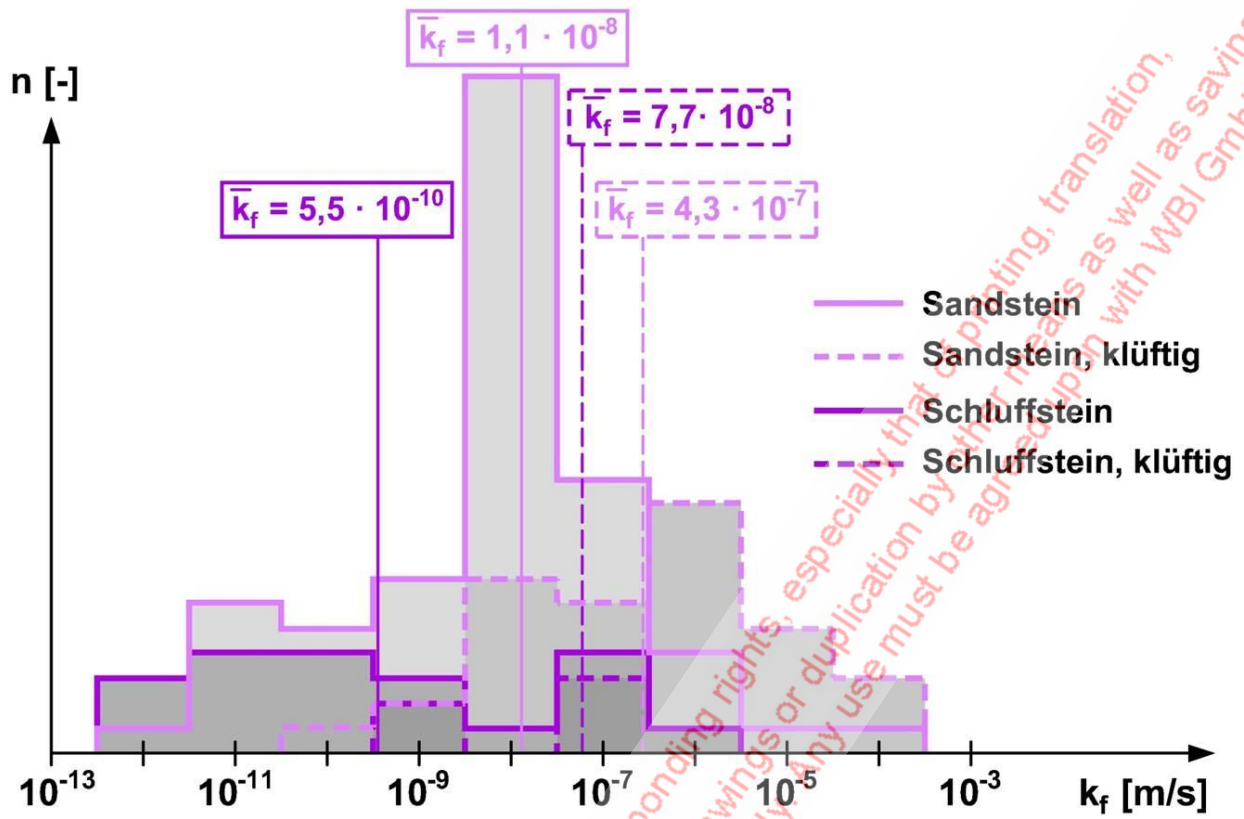


Bild 11: Fildertunnel, Ergebnisse hydraulische Bohrlochversuche

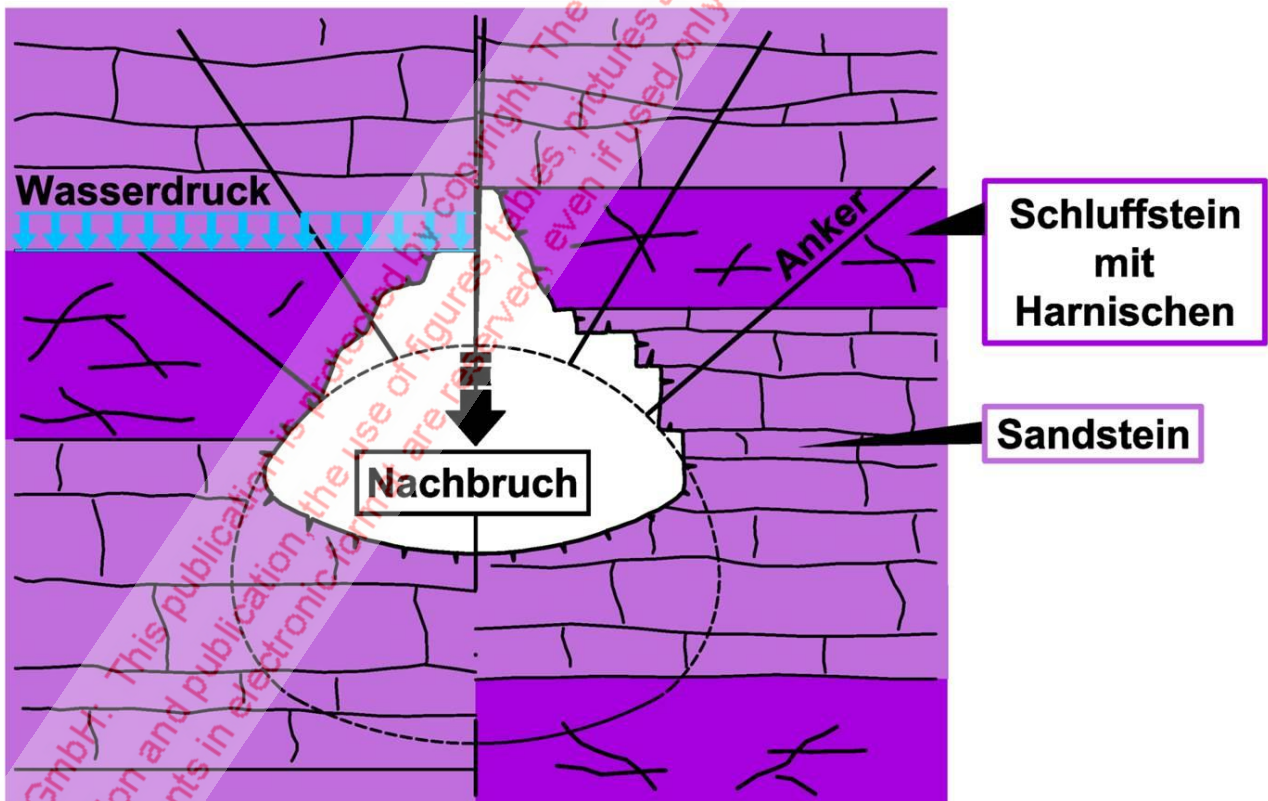


Bild 12: Ursache für Probleme mit Standsicherheit der Laibung

Daraus ergibt sich für den Tunnelbau im Stubensandstein das Risiko von "Sargdeckeln". Wenn in einem unterhalb des Grundwasserspiegels liegenden Tunnelabschnitt in Höhe der Firste eine Tonschluffsteinschicht ansteht, so wird der Wasserdruck in einer darunter liegenden Sandsteinschicht vortriebsbedingt abgebaut (Dränage), während oberhalb der Tonschluffsteinschicht aufgrund der geringen Wasserdurchlässigkeit noch der volle Wasserdruck wirksam ist (Bild 12 links). Als Maßnahme hilft hier ein den Vortrieb begleitender oder dem Vortrieb vorausseilender Abbau des Wasserdrucks durch Dränagebohrungen oder aber im Falle eines TBM-Vortriebs der Aufbau eines entsprechenden Gegendruckes.

2.4 Schwarzjura

Auf dem Foto aus dem konventionell aufgefahrenen Abschnitt des Fildertunnels erkennt man eine horizontal geschichtete, vertikal geklüftete Kalksandsteinbank mit Rostbestegen auf den Trennflächen, die auf eine Wasserführung schließen lassen (Bild 13). Darunter liegt eine ebenfalls horizontal geschichtete Tonsteinfolge.

Im Bereich der Filderebene stehen mit dem Lias α_1 oder Hettangium 1 eine tonsteinreiche Folge und darüber mit dem Lias α_2 oder Hettangium 2 eine im oberen Bereich kalksandsteinreiche Folge horizontaler Schichten an (Bild 14). In dieser Formation wurden in der Vergangenheit eine Reihe von Tunnelbauwerken erstellt und aus den in diesem Zusammenhang durchgeführten Untersuchungen und Messungen während der Bauzeit felsmechanische Kennwerte abgeleitet. Bild 14 enthält eine Zusammenstellung der im Bereich des Flughafens maßgebenden Verformungsmoduli, die für horizontale und vertikale Belastungen unterschiedlich sind. Außerdem sind die Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte dargestellt, die ebenfalls aufgrund der Klüftung in horizontaler Richtung andere Werte aufweisen als vertikal (Bild 14). Weiterhin ist festzuhalten, dass die Tonsteine eine deutlich geringere Wasserdurchlässigkeit aufweisen als die Kalksandsteine (Wittke 1990, Wittke & Tegelkamp & Wittke-Gattermann & Wittke 2003, Grüter 1988, Wittke & Pierau & Erichsen 2002, WBI 1989, Wittke 1991, Böttcher & Schmidt & Erichsen 1998).

Die Schichten des Schwarzen Jura wurden im Raum von Stuttgart vor ca. 195 Mio. Jahren abgelagert und danach mit den Schichten des Braunen und Weißen Jura überlagert (Bild 15). Durch das Gewicht dieser Überlagerung wurden die als Tone abgelagerten Schichten zu Tonstein verfestigt. Dabei bauten sich auch hohe Horizontalspannungen auf, die bei dem in der Kreidezeit und im Tertiär erfolgten Abbau der Überlagerung nicht wieder voll zurückgegangen sind (Wittke 2014, Wittke & Tegelkamp & Wittke-Gattermann & Wittke 2003, Grüter 1988, Wittke & Pierau & Erichsen 2002, WBI 1989, Wittke 1991, Böttcher & Schmidt & Erichsen 1998, Bild 15).

Diese Spannungen haben beim Aushub der Baugruben für die Haltestellen Universität und den Flughafen der S-Bahn Stuttgart zu horizontalen Verschiebungen der Baugrubenwände geführt (Wittke 2014, Wittke 1990, Bild 16). Dabei waren die Horizontalverschiebungen beim Aushub von tonsteinreichen Schichtenfolgen deutlich größer als beim Aushub des Kalksandsteins (Bild 16).

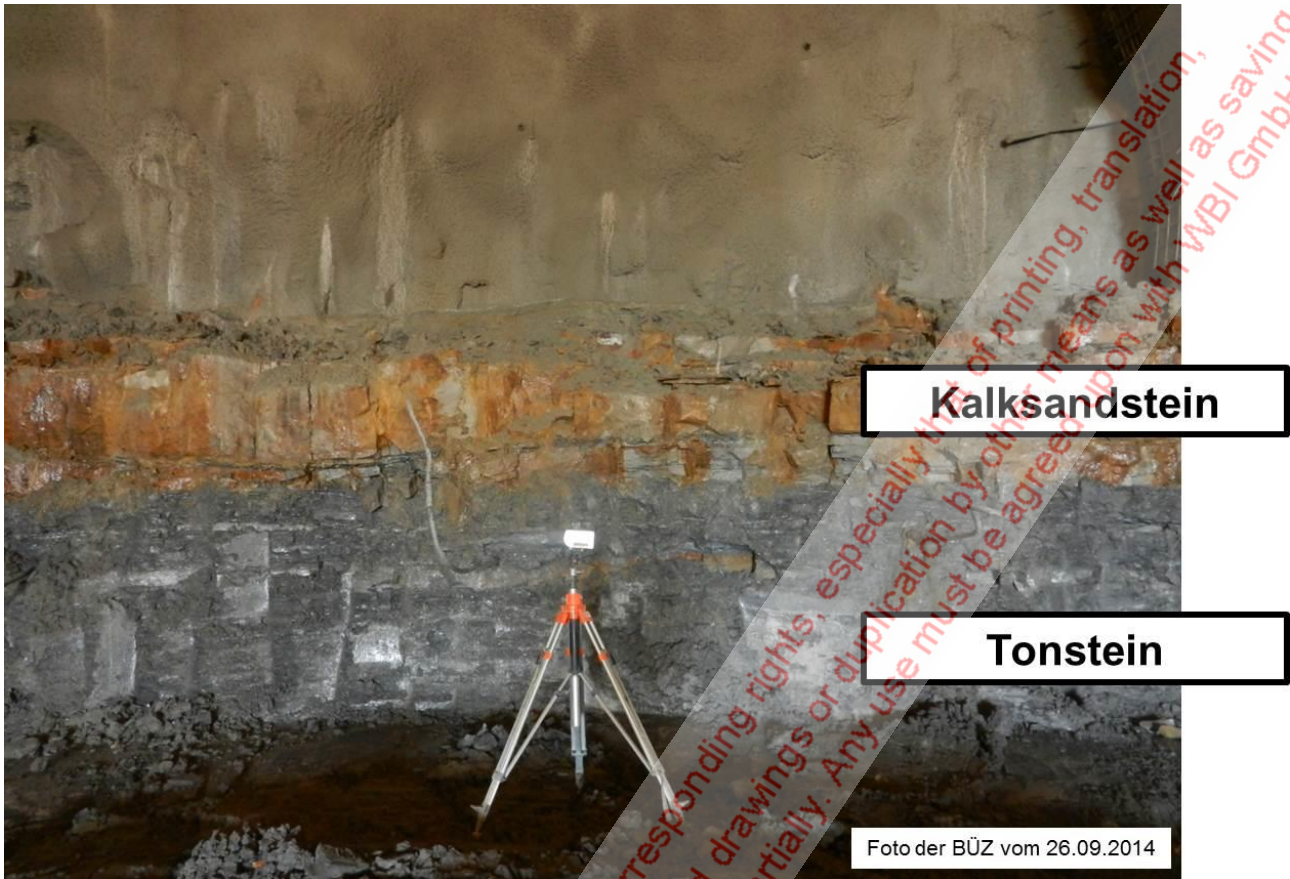


Bild 13: Fildertunnel - Ortsbrust TM 56,5 (26.09.2014)

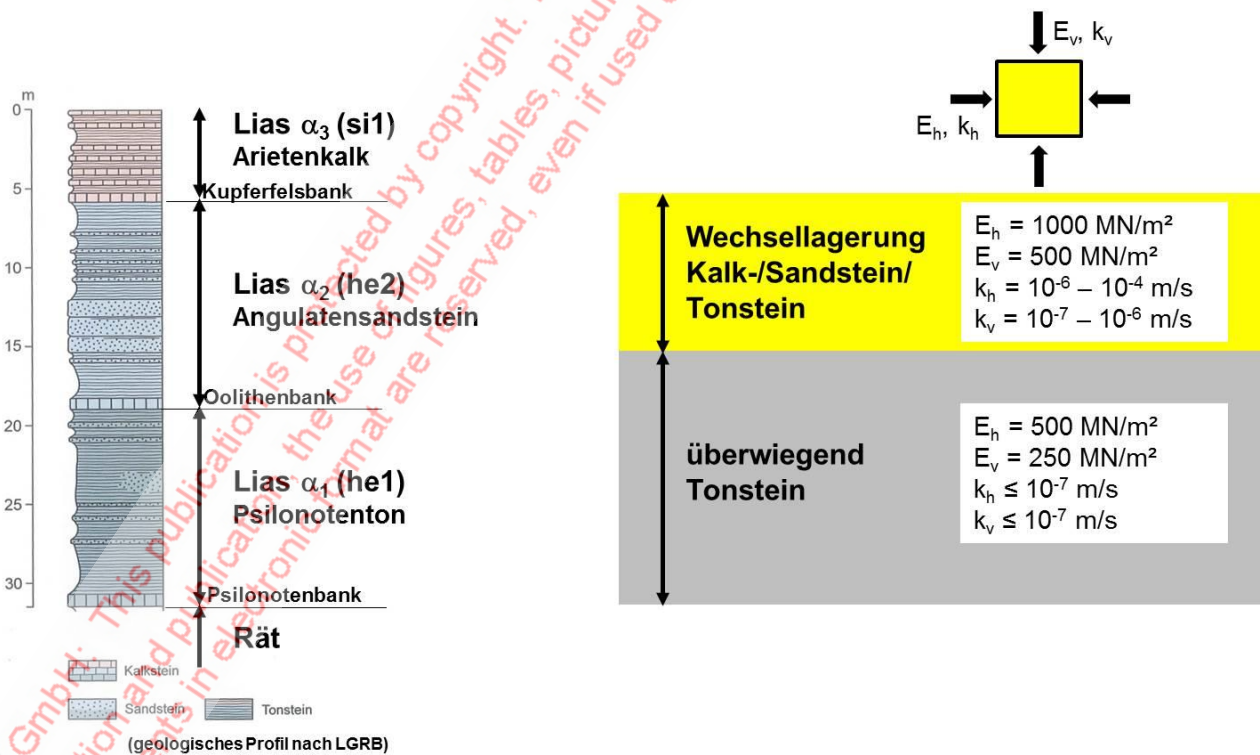


Bild 14: Schwarzhura α und ausgewählte felsmechanische Kennwerte

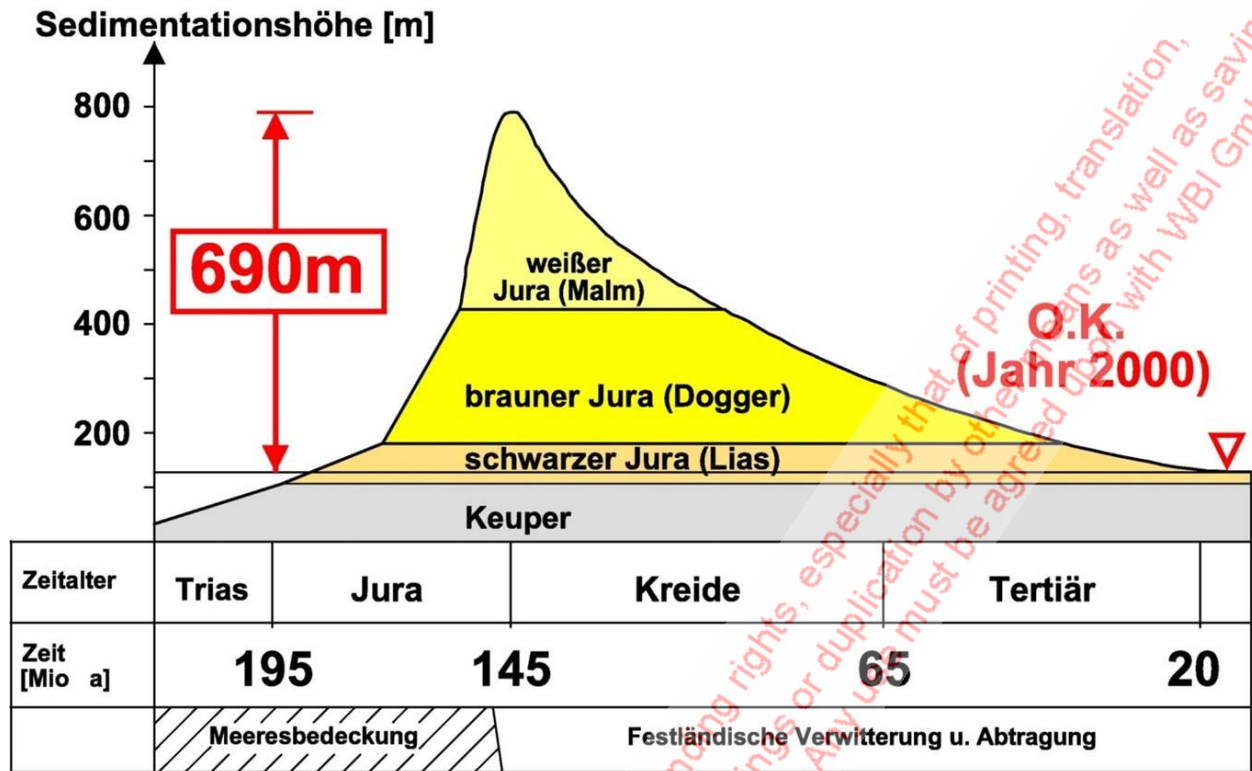


Bild 15: Überlagerung im Raum Stuttgart

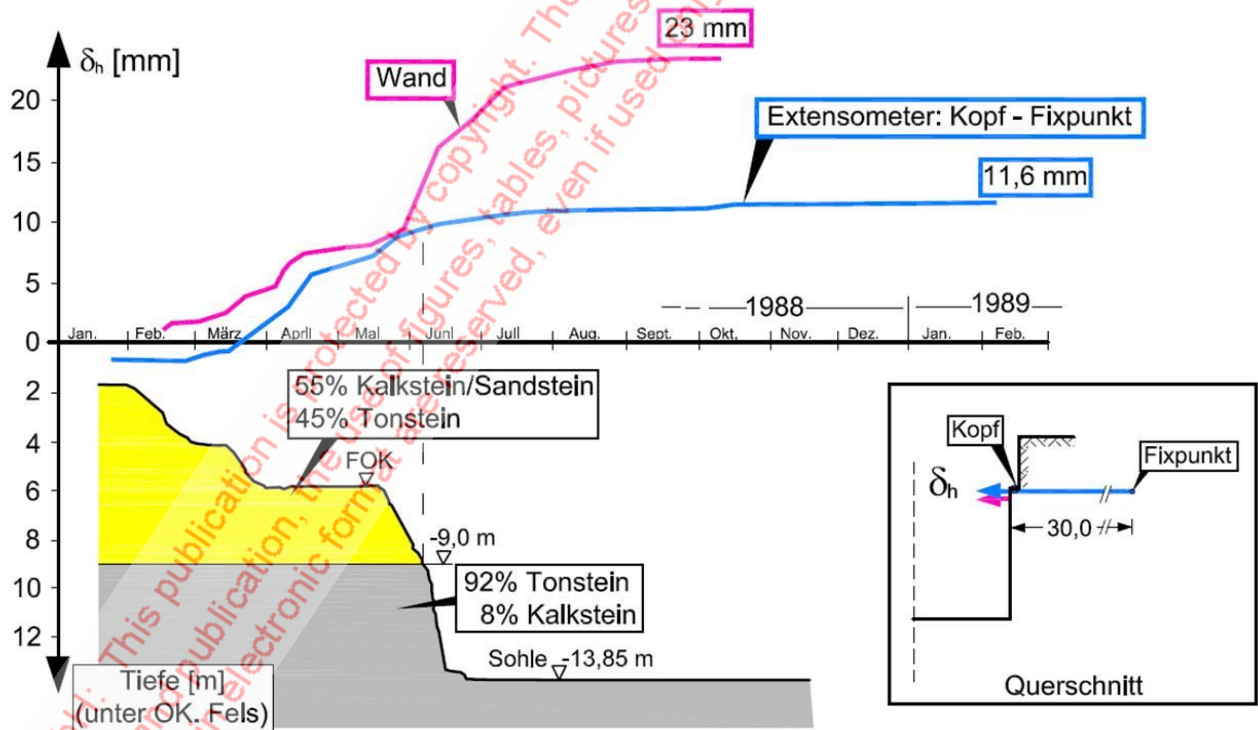


Bild 16: Baugrube S-Bahn Station Flughafen Stuttgart, Horizontalverschiebungen

© WBL GmbH: This publication is protected by copyright. The corresponding rights, especially that of printing, translation, presentation and publication, the use of figures, tables, pictures and drawings or duplication by other means as well as saving the documents in electronic form must be agreed upon with WBL GmbH.

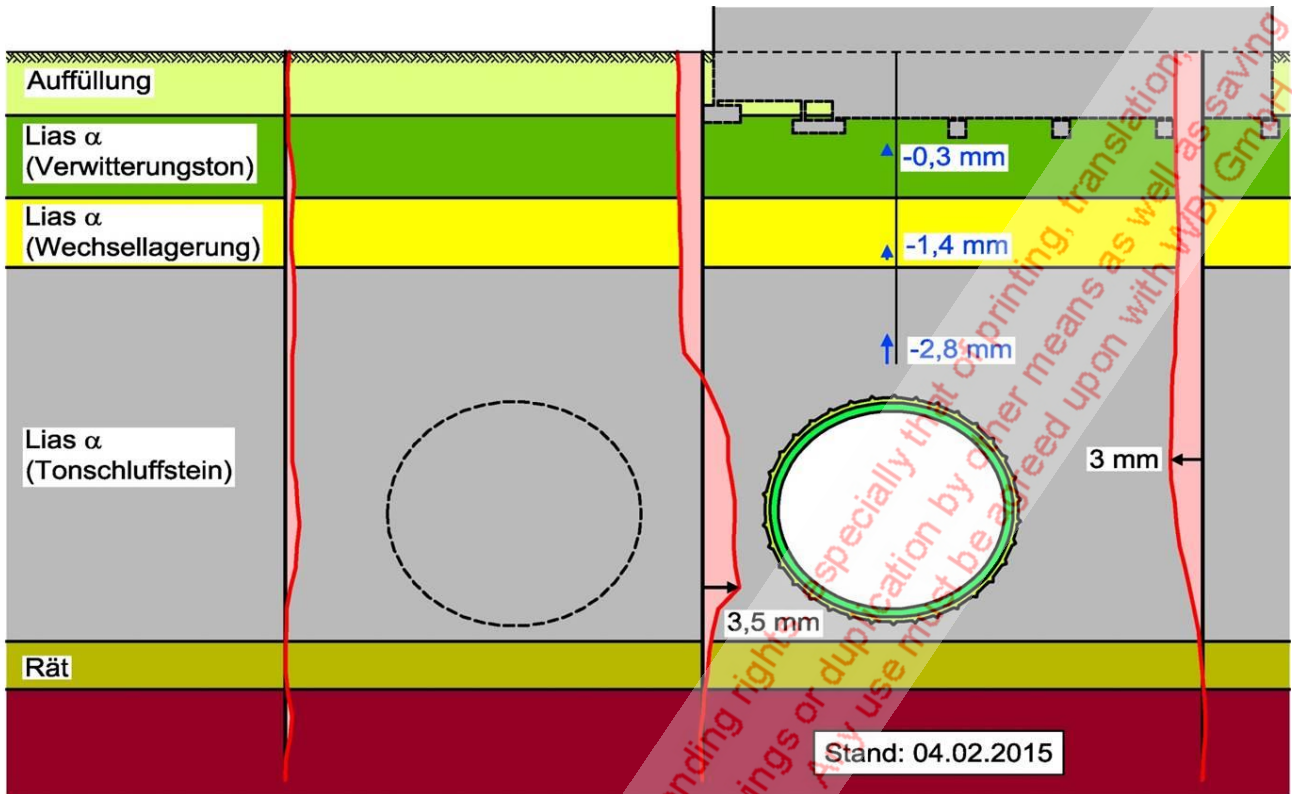


Bild 18: Fildertunnel im Bereich der Schelmenwasenstraße, Ergebnisse Extensometer und Inklinometermessungen, TM261, Röhre 802 (04.02.2015)

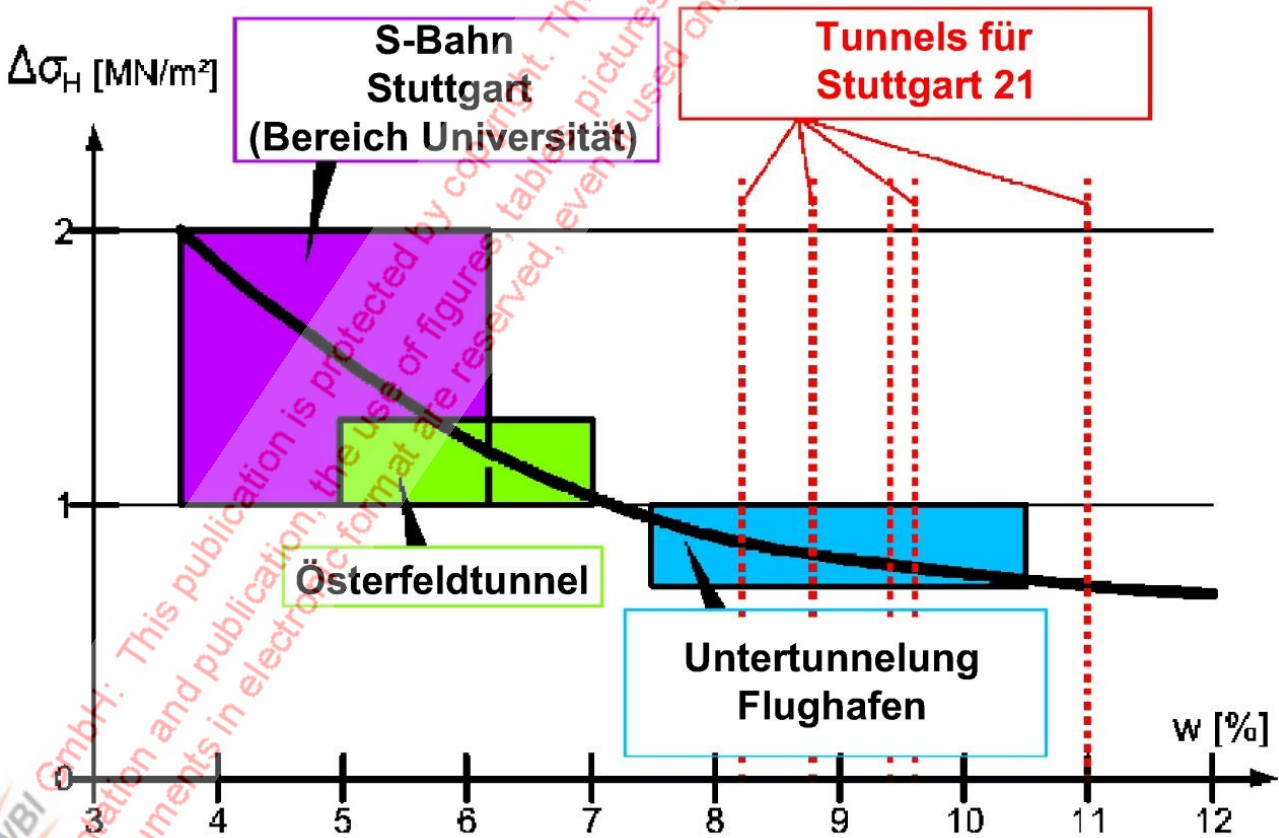


Bild 19: Einfluss des Wassergehalts auf die Horizontalspannungen

3. Boßler- und Steinbühlentunnel

Der Alaufstieg der NBS Stuttgart – Ulm soll durch den Boßlertunnel, die Brücke über das Filstal und durch den Steinbühlentunnel erfolgen.

Der Boßlertunnel kommt über den größten Teil seiner Länge in den Schichten des Braunjura zu liegen. Hier mussten die felsmechanischen Kennwerte, die als Grundlage für die Planung dienen, aus Bohrergebnissen, in den Bohrungen ausgeführten Versuchen und aus Laborversuchen abgeleitet werden. Für den Opalinuston oder Braunjura α führten diese Untersuchungen zu dem in Bild 20 dargestellten Gefügemodell und den ebenfalls zusammengestellten Kennwerten. Das Foto einiger Kernkisten gibt einen visuellen Eindruck dieser Tonsteine.

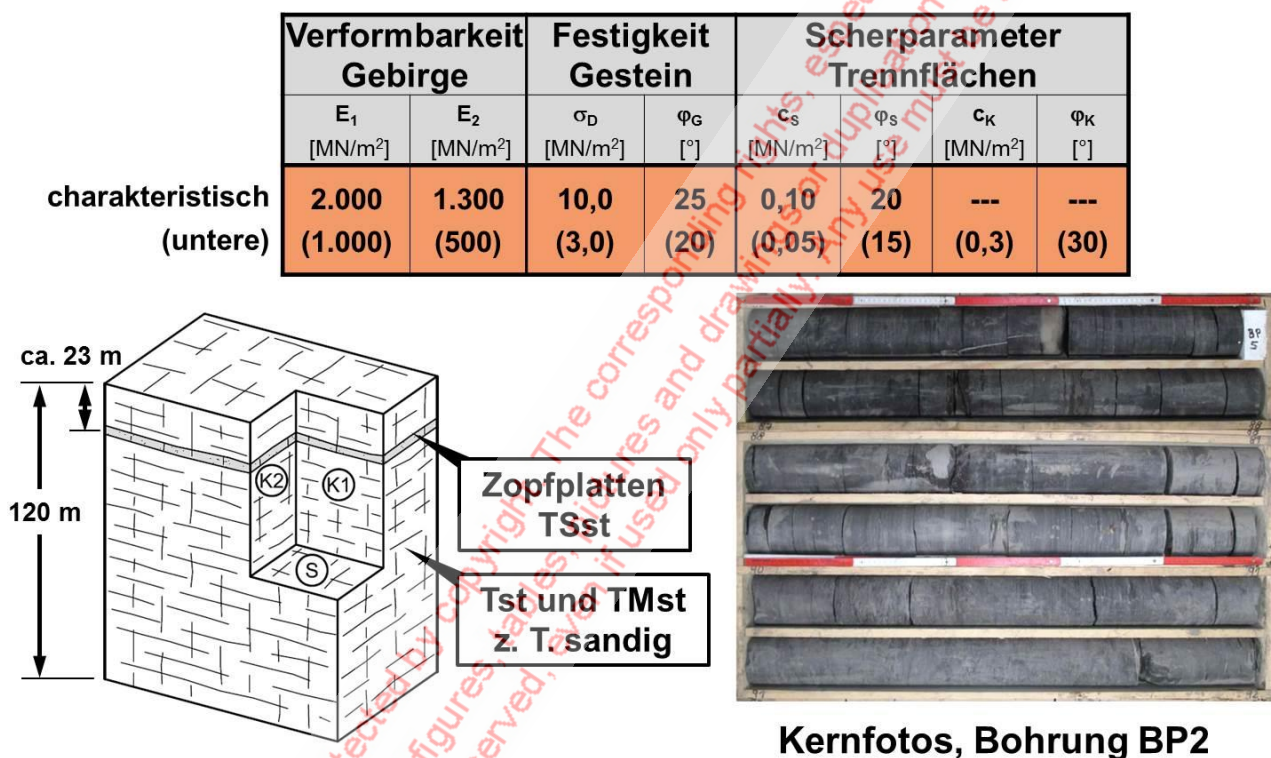


Bild 20: "Opalinuston", Gefügemodell und Kennwerte

Für die ebenfalls vom Boßlertunnel zu durchörternden Schichten des Braunjura β führten die auf diesem Weg erarbeiteten Kennwerte zu der Prognose druckhafter Verhältnisse beim Tunnelbau. Daher wurde am Ende des Zwischenangriffs Umpfental ein Erkundungsschacht hergestellt und in Höhe der Sohle ein Erkundungstollen aufgefahren (Bild 21). Über die Ergebnisse dieser Arbeiten wird an anderer Stelle dieses Heftes berichtet (Schmitt & Wittke-Gattermann 2015).

Bei der Planung und dem Bau des im Weißjura liegenden Steinbühlentunnels ging es vor allem um die Einschätzung und Beherrschung der durch die Verkarstung bedingten tunnelbautechnischen Risiken (Bilder 22, 23). Mit der intensivsten Verkarstung musste in den Massenkalken und den gebankten Kalksteinen des Kimmeridge 2 (Ki 2) gerechnet werden.



Bild 21: Blick in den Erkundungsschacht



9/DEZ/2014

Bild 22: Oströhre Nord, Kalotte beim TM 2.456,4

Dementsprechend wurde hier die größte Anzahl größerer, mittlerer und kleinerer Verkarsungshohlräume prognostiziert (Bild 23). In den Mergelsteinen des Kimmeridge 1 (Ki 1) und auch in den Kalksteinen des Oxford 2 (Ox 2) wurde dagegen mit geringerer Verkarsung gerechnet (Bild 23). Die Prognosen bauten auf den Ergebnissen der Erkundungsbohrungen und den beim Bau der NBS Nürnberg - Ingolstadt gesammelten Erfahrungen auf. Die beim Vortrieb bis zum Zeitpunkt des Referats tatsächlich angetroffenen Hohlräume mit Größen > 1 m stimmen in der Summe in etwa mit der Prognose überein. Nach Abschluss der Arbeiten wird ausführlich über die Ergebnisse und die getroffenen Maßnahmen berichtet werden (Kielbassa 2015).

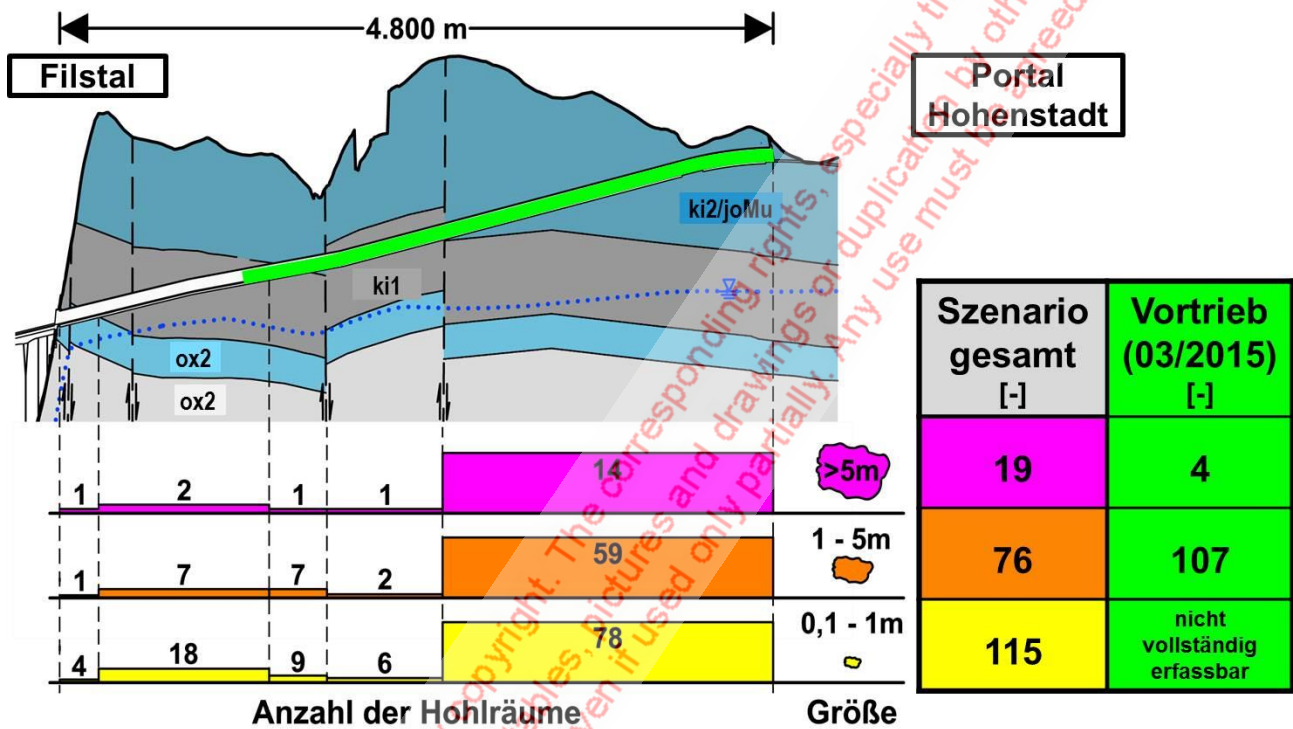


Bild 23: Szenario und tatsächlich angetroffene Karststrukturen

Literatur

Böttcher, K.-H.; Schmidt, I.; Erichsen, C.: S-Bahn Stuttgart - Streckenverlängerung vom Flughafen nach Filderstadt-Bernhausen - Die Untertunnelung des Flughafens. Vortrag zur Baugrundtagung, Stuttgart, 1998.

Erichsen, C.: Entwurfskonzepte für die Tunnel des Projekts. Vortrag anlässlich des Felsmechanik-Tags im WBI-Center am 16.04.2015. WBI-PRINT 18, Weinheim, 2015.

Geyer, O. F.; Gwinner, M. P.: Geologie von Baden-Württemberg. Schweizerbart, Stuttgart, 2011.

Grüter, R.: Erkundung des Spannungszustandes in den Schichten des Schwarzjura durch einen Großversuch bei der S-Bahn zum Flughafen Stuttgart-Echterdingen. Vortrag, gehalten auf dem 8. Nationalen Felsmechanik-Symposium in Aachen 1988, Geotechnik Sonderheft 1988.

Kielbassa, S.: Baubegleitende Erkundung von Karst. Vortrag anlässlich des Felsmechanik-Tags im WBI-Center am 16.04.2015. WBI-PRINT 18, Weinheim, 2015.

Lay, E.: Tunnelbau im städtischen Gebiet - Unterfahrung bestehender Bahnanlagen. In: 21. Symposium Felsmechanik und Tunnelbau, Tagungsband. DGGT, Essen, 2015.

LGRB: Geologische Übersichtskarte, 1 : 300.000, 2013.

LGRB: Geologische Karte von Baden-Württemberg, 1 : 25.000, Blätter 7120, 7121, 7220, 7221, Stuttgart.

Schmitt, D.; Wittke-Gattermann, P.: Erkundungsbauwerk im Bereich des Zwischenangriffs Umpfental; Auswertung und Interpretation. Vortrag anlässlich des Felsmechanik-Tags im WBI-Center am 16.04.2015. WBI-PRINT 18, Weinheim, 2015.

Wahlen, R.: Validierung eines Berechnungsverfahrens für Tunnelbauwerke in quellfähigem Gebirge. WBI-PRINT 17, Verlag Glückauf GmbH, Essen 2009.

WBI: S-Bahn Stuttgart Station Flughafen mit Abstellanlage (Baulos 72), Darstellung und Interpretation der Ergebnisse der beim Aushub der Baugrube durchgeführten Verschiebungs- und Ankerkraftmessungen (Schlussbericht). Aachen, September 1989 (unveröffentlicht).

WBI: Stuttgart 21, Planfeststellungsabschnitt 1.2, Fildertunnel, Baugrundgutachten. Fassung vom 09.04.2010a.

WBI: Stuttgart 21, Planfeststellungsabschnitt 1.2, Fildertunnel, Streckenachse 910: km 0+432 - 9+900, Tunnelbautechnisches Gutachten. Fassung vom 09.04.2010b.

Wittke, M.: Begrenzung der Quelldrücke durch Selbstabdichtung beim Tunnelbau im anhydritführenden Gebirge. Geotechnical engineering in research and practice, WBI-PRINT 13. Essen: Glückauf, 2003.

Wittke, M.; Druffel, R.; Hochgürtel, T.: Zugangsstollen Ulmer Straße, Beherrschung von Wasserzutritten im Bereich der Auslaugungsfront. Vortrag anlässlich des Felsmechanik-Tags im WBI-Center am 16.04.2015. WBI-PRINT 18, Weinheim, 2015.

Wittke, W.: Fundamentals for the design and construction of tunnels located in swelling rock and their use during construction of the turning loop of the subway Stuttgart. Publications of the Institute for Foundation Engineering, Soil Mechanics, Rock Mechanics and Water Ways Construction, RWTH Aachen, Vol. 6, 1978.

Wittke, W.: Rock Mechanics - Theory and Applications with Case Histories. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 1990.

Wittke, W.: Hohe Horizontalspannungen im Jura und ihre bautechnischen Konsequenzen. 9. Nationales Felsmechanik-Symposium in Aachen 1990. Geotechnik Sonderheft 1991.

Wittke, W.; Pierau, B.; Erichsen, C.: Statik und Konstruktion der Spritzbetonbauweise. WBI-PRINT 5, Verlag Glückauf GmbH, Essen 2002.

Wittke, W.; Tegelkamp, M.; Wittke-Gattermann, P.; Wittke, M.: Tunneling under the Stuttgart airport runway. World Tunneling, Oct. 2003.

Wittke, W.: Rock Mechanics based on an Anisotropic Jointed Rock Model (AJRM), Verlag Ernst & Sohn GmbH & Co. KG, Berlin 2014.

Wittke-Gattermann, P.; Lutz, J.; Strangfeld, W.: Konventionelle Vortriebe im ausgelaugten Gipskeuper. Vortrag anlässlich des Felsmechanik-Tags im WBI-Center am 16.04.2015. WBI-PRINT 18, Weinheim, 2015.